

Новосибирский государственный аграрный университет  
Новосибирский филиал ФГБОУ «Всероссийский научно-  
исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»  
(ЗапсибВНИРО)

**VI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ  
БИОРЕСУРСОВ»**

**Материалы  
(11-13 ноября 2021 г., г. Новосибирск)**

НОВОСИБИРСК 2021

УДК 556.1115:591+639.1  
ББК 28.082

Современное состояние водных биоресуров: материалы международной конференции, г. Новосибирск, 11-13 ноября 2021 г. / под ред. Е. В. Пищенко, И. В. Морузи. – Новосибирск: НГАУ. – 2021. – 265 с.

ISBN 978-5-94477-299-2

В сборнике опубликованы материалы, представляющие результаты научных исследований доложенных на Международной конференции «Современное состояние водных биоресуров» (11-13 ноября 2021 г., г. Новосибирск). В них рассматриваются вопросы биоразнообразия, структуры, динамики популяций и сообществ гидробионтов, состояние запасов, воспроизводство, ихтиопатологическое состояние водоемов и объектов аквакультуры.

Издание представляет интерес для гидробиологов, ихтиологов, ихтиопатологов, работников рыбного хозяйства, специалистов-экологов и может быть полезно преподавателям вузов, аспирантам и студентам.

**Статьи печатаются в авторской редакции**

The collection contains materials representing the results of scientific research reported at the International conference " Current state of aquatic bioresources " (November 11-13, 2020, Novosibirsk). They address issues of biodiversity, structure, dynamics of populations and communities of hydrobionts, state of reserves, reproduction, and ichthyopathological state of reservoirs and aquaculture facilities.

The publication is of interest to hydrobiologists, ichthyologists, ichthyopathologists, fisheries workers, environmental specialists and can be useful for University teachers, graduate students and students.

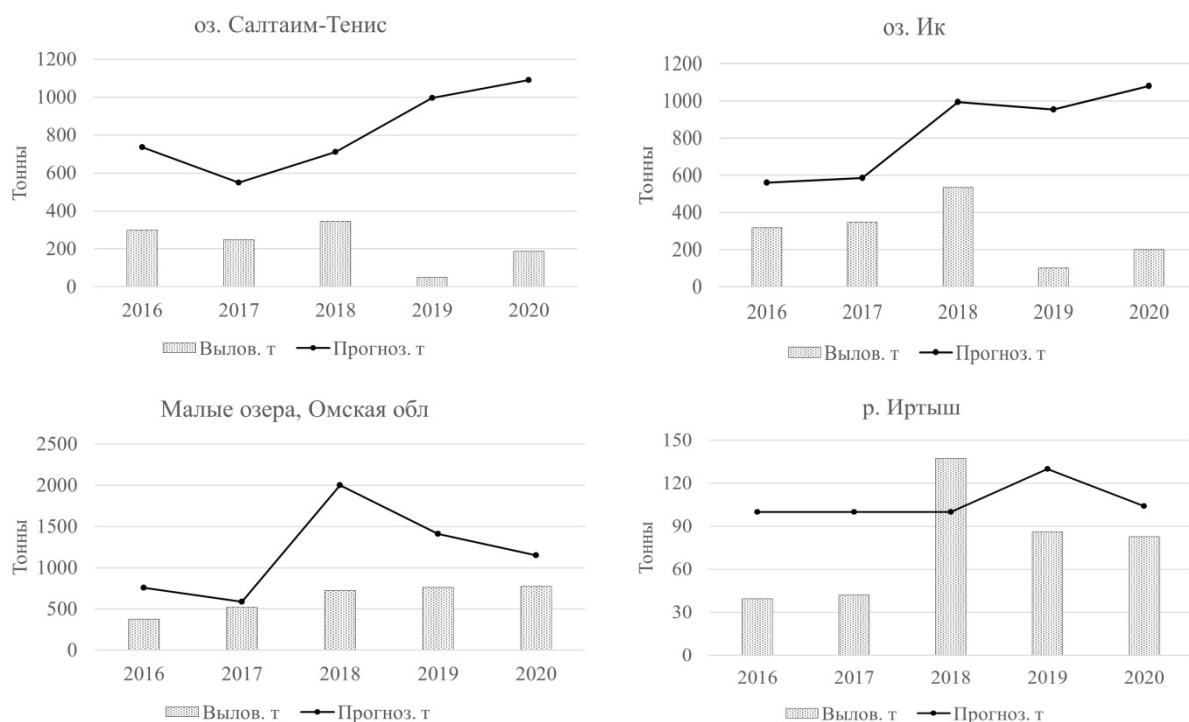


Рис.2. Динамика освоения рыбных запасов в водных объектах Омской области, 2016-2020 гг.

УДК 581.174.1.2:582.263:344

## МИКРОВОДОРОСЛИ РОДА *COELASTRELLA* СНОДАТ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК АСТАКСАНТИНА И КАНТАКСАНТИНА ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ

Э.С. Челебиева, И.Н. Чубчикова, И.В. Дробецкая, Н.В. Данцюк, Г.С. Минюк  
 ФГБУН ФИЦ Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, г.  
 Севастополь, Россия  
 E-mail: [elina.chelebieva@gmail.com](mailto:elina.chelebieva@gmail.com)

**Аннотация.** Актуальной задачей для устойчивого развития аквакультуры в Российской Федерации является создание качественных отечественных кормов. Введение кетокаротиноидов астаксантина (Аст) и кантаксантина (Кан) в рецептуру кормов для ракообразных и рыб приводит к увеличению выживаемости, ускорению роста, повышению устойчивости к бактериальным инфекциям, гипоксии и осмотическому стрессу. Потенциальным источником природных Аст и Кан является зеленая микроводоросль *Coelastrella rubescens* (IPPAS H-350). Для одновременного получения каротиноидов и нейтральных липидов *C. rubescens* выращивают методом двухстадийной культуры. Этот вид хорошо растет на минеральных питательных средах ВВМ и ВГ-11, причем не снижает скорости роста при полной замене в среде дорогостоящих нитратов на дешевую мочевины. При освещенности  $120 \mu\text{E}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$  и содержании  $\text{CO}_2$  в газо-воздушной смеси 0,2% максимальная и средняя удельные скорости составляют  $1,3-1,6 \text{ сут}^{-1}$  и  $0,35-0,40 \text{ сут}^{-1}$ . В этих условиях выход суммарных каротиноидов достигает  $2,8 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}\cdot\text{сут}^{-1}$ . Содержание суммарных каротиноидов в биомассе составляет около 2%, доля кетокаротиноидов 91%, из которых 45-50% приходится на эфиры Аст и 12-17 % на Кан. Содержание липидов в биомассе *C. rubescens* варьирует в широких пределах (25-50 % сухого вещества). В вегетативных

клетках в составе жирных кислот две незаменимые кислоты C18:2 $\omega$ 6 (линолевая) и C18:3 $\omega$  ( $\alpha$ -линоленовая). В зрелых спорах доминируют насыщенные (C16:0 и C18:0) и моноеновые жирные кислоты (C16:1, C18:1).

**Ключевые слова:** *Coelastrella* spp., каротиноиды, корма для аквакультуры

## MICROALGAE OF THE GENUS *COELASTRELLA* CHODAT AS A POTENTIAL SOURCE OF ASTAXANTHIN AND CANTAXANTHIN FOR AQUACULTURE

*E.S.Chelebieva, I.N.Chubchikova, I.V.Drobetskaya, N.V.Dantsyuk, G.S.Minuyuk*

Federal research center A.O. Kovalevsky Institute of Biology of Southern Seas RAS,  
Sevastopol, Russia

E-mail: [elina.chelebieva@gmail.com](mailto:elina.chelebieva@gmail.com)

**Abstract.** Production of high-quality feed is critically important for the sustainable development of aquaculture in the Russian Federation. The addition of ketocarotenoids (KCar) such as astaxanthin (Ast) and canthaxanthin (Can) to food supply for crustaceans and fish leads to an increase in survival, growth acceleration, increased resistance to bacterial infections, hypoxia and osmotic stress. Green microalgae *Coelastrella rubescens* (IPPAS H-350) is a potential source of natural Ast and Can. Simultaneous production of carotenoids and neutral lipids by *C. rubescens* is achieved by growing it in a two-stage culture. This species grows well on mineral nutrient media BBM and BG-11, and does not reduce the growth rate when completely replacing expensive nitrates with cheap urea in the medium. At light intensity 120  $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  and CO<sub>2</sub> content in the gas-air mixture of 0.2%, the maximum and average specific growth rates are 1.3-1.6 days<sup>-1</sup> and 0.35-0.40 days<sup>-1</sup>. Under these conditions, the yield of total carotenoids reaches 2.8 mg·l<sup>-1</sup>·day<sup>-1</sup>. The content of total carotenoids in biomass is about 2%, and the total count of ketocarotenoids is 91%, with 45-50% of Ast esters and 12-17% Can. The lipid content in *C. rubescens* biomass varies widely (25-50% dry matter). In vegetative cells, fatty acids contain two essential acids C18:2 $\omega$ 6 (linoleic) and C18:3 $\omega$  ( $\alpha$ -linolenic). In mature spores saturated (C16:0 and C18:0) and monoenoic acids (C16:1, C18:1) dominate.

**Keywords:** *Coelastrella* spp., carotenoids, aquaculture feed.

Введение в рецептуру кормов для объектов аквакультуры C<sub>40</sub>-кетокаротиноидов (ККар) Аст и Кан в качестве антиоксидантов и иммуностимуляторов [9] приводит к увеличению выживаемости и ускорению темпов роста особей, повышению их резистентности к инфекциям и абиотическому стрессу и повышает товарные качества продукции [5, 7]. Накоплен массив экспериментальных данных с использованием природных ККар, выделенных из микроводоросли *Haematococcus pluvialis*, дрожжей *Xanthophyllomyces dendrorhous* и отходов переработки криля, но в товарной аквакультуре используют их более дешевые химические аналоги, отличающиеся от натуральных наличием не встречающихся в природе изомеров. Высокое содержание их в продуктах аквакультуры вызывает сомнения в безопасности для человека. Поиск новых природных источников Аст и Кан является актуальной задачей.

Целью данной работы было привлечь внимание специалистов в области производства кормов для аквакультуры к новому потенциальному источнику природных ККар – зеленым микроводорослям рода *Coelastrella*.

Род *Coelastrella* Chodat 1922 принадлежит к семейству Scenedesmaceae (самому богатому каротиногенными видами в классе Chlorophyceae) [1]. Он включает 18 видов эврибионтных и экстремофильных микроводорослей, встречающихся на поверхности почвы и скальных пород, коре деревьев, в мелких пресных водоемах и пр. во всех климатических зонах и на всех континентах. Широкая экологическая валентность *Coelastrella* spp. определяется наличием у этих водорослей специфического физиолого-биохимического механизма адаптации к абиотическому стрессу – вторичного

каротиногенеза (ВКГ) – способности к массивному накоплению в стрессовых условиях С<sub>40</sub>-ККар и липидов, сопряженной с легко обратимым переходом клеток в стадию покоя [9]. Форма и размеры клеток у *Coelastrella* spp. варьируют в широких пределах в зависимости от возраста. Молодые клетки имеют лимонovidную или сфероидную форму ( $V=10-60 \text{ мкм}^3$ ) (рис. а, д), зрелые автоспоры широко овальные или шаровидные ( $V=80-320 \text{ мкм}^3$ ) (рис. б, е). Таксономически значимым морфологическим признаком рода являются гладкие меридиональные ребра на поверхности клеточной стенки (4-12, 20), сходящиеся на полюсах (рис. г, з), а видовыми - их число и рисунок [6]. К типичным морфо-структурным характеристикам *Coelastrella* spp относятся: одноядерность, одиночный хлоропласт, один пиреноид, ассоциированный с хлоропластом, двухслойная оболочка с внутренним целлюлозным и наружным триламилярным слоями, бесполое размножение автоспорами по 4-16 в автоспорангии (рис. в, ж) [10]. Наиболее достоверными методами идентификации *Coelastrella* spp. являются электронная микроскопия и филогенетический анализ с использованием молекулярных маркеров [6, 10].

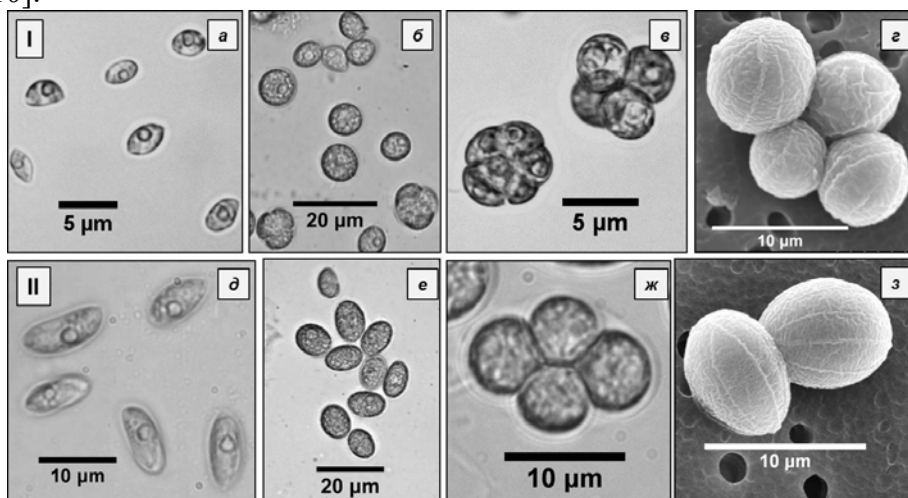


Рис.1. Морфологические особенности двух видов *Coelastrella*. I – *C. rubescens* (штамм ССАЛА 475), II – *C. sp.* (штамм АСКУ 144-02) (пояснения в тексте)

Для одновременного получения ККар и нейтральных липидов, служащих средой для депонирования пигментов в олеосомах [9], *Coelastrella* spp. выращивают методом двухстадийной культуры, описанной в [2]. В экспериментах [2, 4, 8] объектом исследований служила *C. rubescens* (штамм IPPAS Н-350), хорошо растущая на минеральных питательных средах ВВМ и ВГ-11, в том числе при полной замене в среде дорогостоящих нитратов на дешевую мочевины. При освещенности  $120 \text{ мкЭ} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  и 0,2% CO<sub>2</sub> в газо-воздушной смеси максимальная и средняя удельные скорости роста составляют соответственно  $1,3-1,6 \text{ сут}^{-1}$  и  $0,35-0,40 \text{ сут}^{-1}$ , а выход суммарных Кар из литра исходной культуры достигает  $2,8 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$  при содержании суммарных Кар в конечной биомассе около 2%, и доле ККар 91%, из которых 45-50% приходится на эфиры Аст и 12-17 % на Кан [2, 4].

Содержание липидов в биомассе *C. rubescens* варьирует в пределах 25-50 % сухого вещества. В вегетативных клетках в составе жирных кислот (ЖК) преобладают (около 50 масс%) две незаменимые кислоты С18:2ω6 (линолевая) и С18:3ω (α-линоленовая), играющие важную структурную и функциональную роль в качестве предшественников мембранных ЖК. В зрелых спорах доминируют насыщенные (С16:0 и С18:0) и моноеновые кислоты (С16:1, С18:1) [8]. Возможность одновременного получения из биомассы *Coelastrella* spp. одновременно антиоксидантных ККар и незаменимых ди- и триеновых ЖК, а также потенциальная пригодность для

культивирования открытым способом определяют промышленную перспективность этих водорослей.

Работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (№ 121030300149–0).

#### Список литературы

1. А. с. 2020621092. Каротиногенные микроводоросли: № 2020620921, заявл. 10.06.2020, опубл. 30.06.2020/ Г.С. Минюк; ФГБУН ФИЦ «ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского РАН». - Бюлл. 2020. – № 7.
2. Патент № 2661086 РФ; МПК С12N 1/12 (2006.01), С12Р 23/00 (2006.01), С12R 1/89 (2006.01). Способ культивирования микроводоросли *Coelastrella rubescens* для получения каротиноидов и липидов: № 2017110990, заявл. 31.03.2017: опубл. 11.07.2018 / Г.С. Минюк, И.Н. Чубчикова, И.В. Дробецкая, Н.В. Данцюк, Э.С. Челебиева, Р.А. Сидоров, А.Е. Соловченко; ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН». - Бюлл.2018. - № 20.
3. Пономарев, С. Корма для ценных объектов аквакультуры: проблемы и решения / С. Пономарев, Ю. Федоровых, Ю. Ширина, О. Левина, Б. Куркембаева, А. Порфирьев, Н. Ушакова, С. Новиков // Комбикорма. -2019. - № 4. - С. 57–58.
4. Чубчикова, И.Н. Хлорококковые микроводоросли как потенциальный источник природных кетокаротиноидов / И.Н. Чубчикова, Г.С. Минюк, И.В. Дробецкая, Н.В. Данцюк // Экология моря. - 2009. - Вып. 77. - С. 77-83.
5. Bera, S. Nutraceutical aspect of canthaxanthin in animal feed technology / S. Bera // EJMCМ. - 2020. - Vol. 7 (7). - P. 3076–3084.
6. Kaufnerová, V. The demise of the genus *Scotiellopsis* Vinatzer (Chlorophyta) / V.Kaufnerová, M. Eliáš // Nova Hedwigia. - 2013. - Vol. 97. - P. 415–428.
7. Lim, K. C. Astaxanthin as feed supplement in aquatic animals / K.C. Lim, F.M. Yusoff, M. Shariff, M.S. Kamarudin // Rev. Aquac. - 2017. Vol. 10 (3). - P. 738–773.
8. Minyuk, G. Stress-induced secondary carotenogenesis in *Coelastrella rubescens* (Scenedesmaceae, Chlorophyta), a producer of value-added keto-carotenoids /G. Minyuk, E. Chelebieva, I. Chubchikova, N. Dantsyuk, I. Drobetskaya, E. Sakhon, K. Chekanov, A. Solovchenko // Algae. - 2017. - Vol. 32 (3). - P. 245–259.
9. Solovchenko, A. E. Recent breakthroughs in the biology of astaxanthin accumulation by microalgal cell / A.E. Solovchenko // Photosynth. Res. - 2015. -Vol. 125. - P. 437–449.
10. Wang, Q. Morphology and molecular phylogeny of coccoid green algae *Coelastrella* sensu lato (Scenedesmaceae, Sphaeropeales), including the description of three new species and two new varieties / Q. Wang, H. Song, X. Liu, B. Liu, Z. Hu, G. Liu // J. Phycol. - 2019. - Vol. 55 (6). - P. 1290-1305.